ElectroStatic Discharge ESD

Omdat er veel elektronische onderdelen bestaan die gevoelig zijn voor elektrostatische ontladingen (ESD) moet iedereen die met elektronica werkt goed op de hoogte zijn van de eigenschappen van ESD. In dit artikel gaan wij in op het ontstaan van ESD en de eigenschappen van deze vreemde eigenschap van de materie.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 10-07-2018

ESD, ElectroStatic Discharge

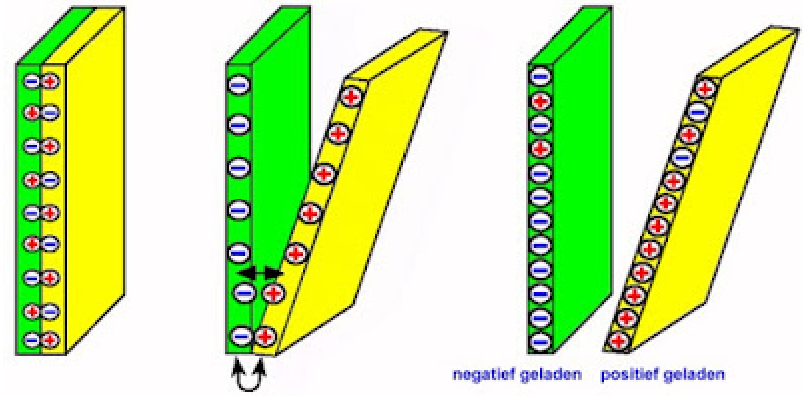
Elektrostatische ontlading
ESD staat voor '**E**lectro**S**tatic **D**ischarge', elektrostatische ontlading. Met dit begrip worden elektrische ontladingen met een betrekkelijk geringe energie-inhoud bedoeld. Door deze geringe energie-inhoud zijn de ontladingen voor mensen zonder gevaar. Ze zijn hoogstens vervelend omdat u bijvoorbeeld bij het aanraken van een metalen handvat van een kastdeur of een auto een schokje voelt. Voor elektronische apparatuur en onderdelen kunnen deze ontladingen echter vaak ernstige gevolgen hebben. Intelligente systemen kunnen onvoorspelbaar gedrag gaan vertonen en onderdelen kunnen defect geraken. De gevoeligheid van elektronische onderdelen voor ESD wordt vaak onderschat. Met de gegevens in de tabel van onderstaande figuur hopen wij u hardhandig uit een eventueel zonnige droom te laten ontwaken. De spanningswaarden geven de maximale waarde van de spanning die tussen de pennen van het onderdeel mag staan.

ONDERDEEL	MAXIMALE SPANNING TUSSEN TWEE PENNEN
FET's	10 V - 100 V
POWER MOSFET's	100 V - 300 V
Very Large Scale Integrated Chip's, voor 1990	400 V - 1.000 V
Very Large Scale Integrated Chip's, modern	1.000 V - 3.000 V
HCMOS	1.500 V - 3.000 V
CMOS, type BE	2.000 V - 5.000 V
Lineaire MOS	800 V - 4.000 V
Oude bipolaire transistoren	600 V - 6.000 V
Moderne bipolaire transistoren	2.000 V - 8.000 V
Bipolaire vermogenstransistoren	7.000 V - 25.000 V
Filmweerstanden, 1/4 W	1.000 V - 5.000 V

De gevoeligheid van elektronische onderdelen voor ESD. (© 2018 Jos Verstraten)

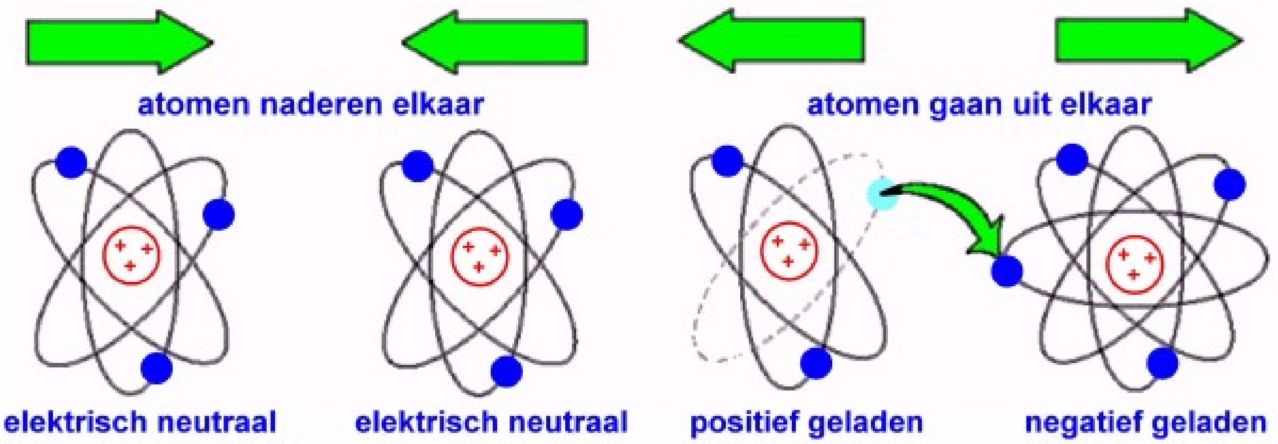
Ontstaan van ESD
Statische elektriciteit ontstaat wanneer u twee niet geleidende oppervlakken met elkaar in

aanraking brengt en nadien weer scheidt. Bij het scheiden van de twee oppervlakken zal het ene oppervlak elektronen plukken van het andere oppervlak. Dit proces is voorgesteld in onderstaande figuur. Het materiaal waaruit de elektronen onttrokken worden krijgt hierdoor een positieve lading en het materiaal dat de elektronen onttrekt krijgt een negatieve lading. Deze ladingen worden statische ladingen genoemd. Afhankelijk van welke materialen van elkaar gescheiden worden, kan er een lage tot zeer hoge statische lading ontstaan. U kent het verschijnsel wel uit uw eigen praktijk. Als u over een vloerbedekking loopt die nylon bevat, zullen uw schoenen worden opgeladen op het moment dat u uw voet van de vloer optilt.



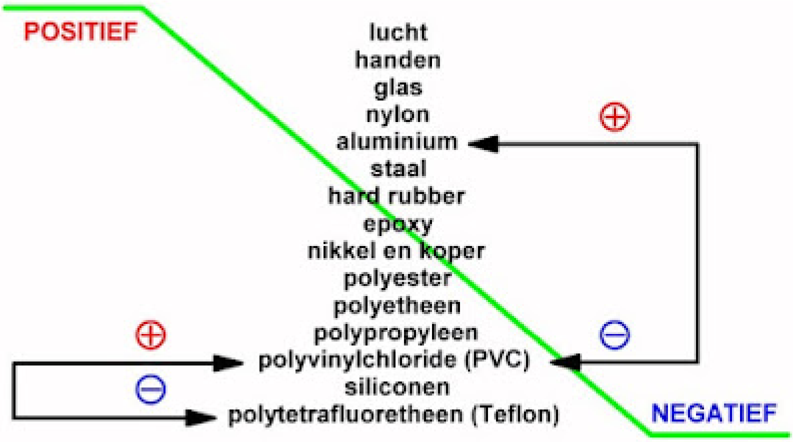
Het ontstaan van elektrostatische lading in niet-geleidende voorwerpen.
(© 2018 Jos Verstraten)

Tribo-elektrische oplading
Dit natuurkundige verschijnsel is bekend onder de naam *'tribo-elektrische oplading'*. Alle materialen om u heen zijn opgebouwd uit moleculen. Moleculen bestaan weer uit nog kleinere deeltjes die we atomen noemen. Een atoom bevat elektrische lading. Een elektrisch geladen kern bestaande uit positief geladen protonen en elektrisch neutrale neutronen. Daar omheen draaien negatieve ladingen, de elektronen.
Onder normale omstandigheden is een atoom elektrisch neutraal. Er bevinden zich even veel positief geladen protonen in de kern als er negatief geladen elektronen rond de kern draaien. De elektronen kunnen zich echter in sommige materialen gemakkelijk verplaatsen, maar het positief geladen deel is vrijwel onverwoestbaar. Op protonen en neutronen te scheiden is enorm veel energie nodig. Als een atoom een elektron verliest zal de totale lading van het atoom positief worden. Men noemt dit een positief ion. Krijgt het atoom een extra elektron dan zal de totale lading van het atoom negatief worden. Met spreekt dan van een negatief ion.
In het voorbeeld van onderstaande figuur hebben wij twee atomen voorgesteld met drie elektronen. Beide atomen hebben dus ook drie positief geladen protonen in de kern. De netto lading van beide atomen is nul. In eerste instantie worden de atomen in nauw contact gebracht. Het gevolg is dat de atomen een interactie aangaan en de elektronen vrij gemakkelijk van het ene naar het andere atoom migreren. Omdat dit proces zich miljarden malen per seconde voordoet, is het netto resultaat nog steeds nul. Als u de twee atomen echter van elkaar verwijdert kan het gebeuren dat een elektron nét van het ene naar het andere atoom is overgesprongen. Dat elektron kan niet meer terug en het linker atoom heeft vanaf dat moment een elektron te weinig en het rechter atoom heeft een elektron te veel. Er ontstaat een ladingsverschil van twee eenheden tussen beide atomen.



Statische ladingen ontstaan door het tribo-elektrisch verschijnsel. (© 2018 Jos Verstraten)

Tribo-elektrische reeks
De grootte van het ladingsverschil en de polariteit ervan is afhankelijk van welk soort atomen na een nauw contact worden gescheiden. Men heeft de zogenoemde *'tribo-elektrische reeks'* opgesteld die in een vereenvoudigde uitvoering is voorgesteld in onderstaande figuur. Aluminium zal na scheiding van PVC een positieve lading krijgen en PVC een negatieve. Het aluminium heeft dus zijn eigen elektronen aan het PVC afgestaan. PVC op zijn beurt zal positief geladen zijn nadat het met Teflon in aanraking is geweest. Hoe verder de materialen in deze reeks van elkaar af staan, des te hoger de onderlinge elektrostatische spanning.



Uit deze tribo-elektrische reeks kunt u afleiden hoe groot de verschil-lading wordt als u twee materialen van elkaar scheidt. (© 2018 Jos Verstraten)

Van lading naar spanning
Tussen twee van elkaar gescheiden materialen kan dus een ladingsverschil ontstaan. In het ene materiaal heerst een elektronen overschot, in het andere een elektronen tekort. Lading wordt gemeten in coulombs. Deze lading uit zich in de praktijk echter als een spanningsverschil volgens de formule:

$q = C \bullet U$

De lading van een voorwerp is gelijk aan het product van zijn capaciteit C ten opzichte van de aarde en zijn spanning U. Als er lading op een voorwerp aanwezig is, dan zal dit voorwerp dus ook een spanning voeren ten opzichte van de aardreferentie. Vandaar dat we, als we de waarde van ESD willen uitdrukken, het nooit over coulomb hebben, maar steeds over volt. Dat is veel handiger! We spreken in de praktijk dan ook steeds over statische spanning in plaats van over statische lading.

De waarde van de statische spanning
De waarde van de statische spanning die u op een geladen voorwerp kunt meten ten opzichte van een neutrale referentie (de aarde) is natuurlijk afhankelijk van de plaats van de in contact zijnde materialen in de tribo-elektrische reeks, maar ook van de luchtvochtigheid. Dat is logisch want vochtige lucht geleidt elektriciteit beter dan droge en hoe vochtiger de lucht, hoe sneller de overbodige elektronen weer uit de atomen zullen ontsnappen.

In de tabel van onderstaande figuur hebben wij een overzichtje gegeven van de statische spanningen die alledaagse activiteiten kunnen opwekken en dat bij twee waarden van de luchtvochtigheid.
U merkt meteen het grote belang van de luchtvochtigheid. Toegegeven, zowel 28 % als 80 % komen in de praktijk niet voor, een normale waarde voor de relatieve luchtvochtigheid in kantoren en werkplaatsen is 50 %. Maar als u de waarde van de statische spanningen, zelfs bij een zeer vochtige lucht, vergelijkt met de kritische spanningen uit de tabel in het begin van dit artikel, dan stelt u vast dat de meeste moderne elektronische onderdelen het aanraken ervan, na een wandelingetje over een tapijt, niet overleven!

RELATIEVE LUCHTVOCHTIGHEID	28 %	80 %
Lopen over een nylon tapijt	35.000 V	1.500 V
Uittrekken van een wollen trui	25.000 V	1.900 V
Opstaan van een stoel	18.000 V	1.800 V
Openen van een plastic zak	17.000 V	1.600 V
Lopen over een vinyl vloer	12.000 V	250 V
Werken op een kunststof tafel	6.000 V	100 V

De waarde van statische elektriciteit bij alledaagse werkzaamheden.
(© 2018 Jos Verstraten)

Spanning veroorzaakt stroom
Als u, opgeladen tot een statische spanning van 10.000 V, het pootje van een IC aanraakt dat via de werktafel op aardpotentiaal staat, dan zal er een gesloten stroomkring ontstaan. De statische spanning in uw lichaam veroorzaakt een stroom die via het IC afvloeit naar de aarde. Tussen uw lichaam en de aarde staan allerlei weerstanden en de spanning van 10.000 V verdeelt zich over die weerstanden in verhouding tot hun relatieve waarde in de totale weerstandskring. Het kan dus gebeuren dat tussen twee op 1 µm van elkaar liggende geleidende baantjes in een IC een spanning van 2.000 V komt te staan. Het gevolg zal duidelijk zijn. De spanning slaat over, de stroom die daarvan het gevolg is wekt plaatselijk zoveel vermogen op dat een deel van het IC letterlijk verdampt. Om u een sprekend voorbeeld te geven: een zeer snelle ontlading van 15.000 V wekt een energie op van 20 MJ, wat omgerekend zeer lokaal een vermogen van 200 kW kan veroorzaken. Dit is de basisoorzaak van de zeer grote schade die ESD aanricht in elektronische onderdelen en schakelingen. Hetzelfde geldt trouwens voor de bliksem. Ook die kan zeer plaatselijk enorm veel schade aanrichten.

De onzichtbare vijand
Let op dat u uw eigen ontlading niet eens hoeft te voelen, te horen of te zien. De gemiddelde mens is ongevoelig voor ontladingen tot 3.000 V. In het algemeen worden de onderstaande grenzen gehanteerd:

- Een elektrische ontlading is voelbaar als een zenuwprikkel vanaf 3.000 V.
- Een elektrische ontlading in hoorbaar als een licht geknetter vanaf 6.000 V.
- Een elektrische ontlading is zichtbaar als klein vonkje vanaf 9.000 V.

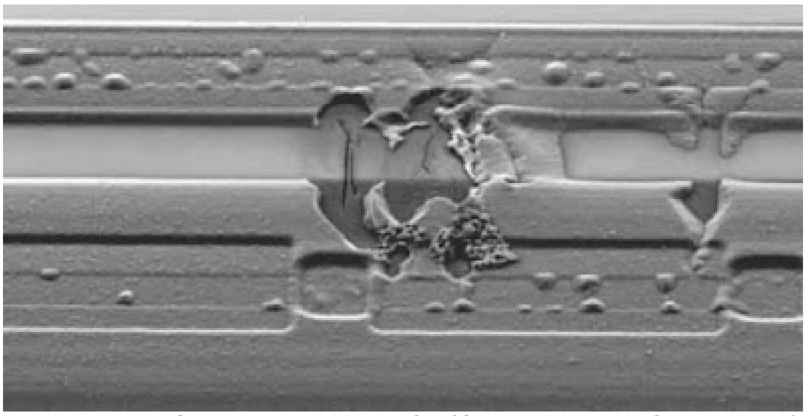
Ook als u niets voelt, hoort of ziet kunt u dus een spanning van 3.000 V op een IC zetten.

Conclusie
Wij hopen dat wij met deze inleidende informatie het grote gevaar van statische elektriciteit voor elektronica duidelijk hebben gemaakt. Op nogal wat babbelboxen wordt het probleem onderschat. Een opmerking als *'Voor ik een print onder handen neem raak ik even de radiator van de centrale verwarming aan. Ik wordt dan volledig ontladen en kan zonder speciale ESD-maatregelen aan de slag'* slaat werkelijk nergens op. Alleen al het terug lopen van de radiator naar de werkplek kan zoveel statische lading in uw lichaam verzamelen dat u het doodvonnis

tekent van elektronische onderdelen.

Schade door ESD

Inleiding
Het probleem bij ESD-schade is dat u het niet ziet. In onderstaande figuur hebben wij als sprekend voorbeeld de schade in beeld gebracht die een ESD heeft aangericht in het interne van een IC. Binnen het IC heeft een subminiatuur explosie plaats gevonden, waardoor kortsluiting is ontstaan tussen twee naast elkaar gelegen sporen. Uitwendig is er uiteraard geen enkel spoor van de zware averij te ontdekken.
Door de steeds kleiner wordende elektronica en de toenemende snelheid waarop deze chip's werken zal de gevoeligheid van deze componenten alleen maar toenemen.



Een door ESD beschadigd IC. (© Wikimedia Commons)

Diverse gevolgen
Afhankelijk van de hoeveelheid energie die in een bepaalde tijd vrijkomt, kan ESD elektronische onderdelen onmiddellijk defect maken of op termijn. Men heeft een aantal definities verzonnen om de mate van defect te definiëren.

Catastrophic failure
Een *'catastrophic failure'* is een ESD-incident, waarbij het onderdeel direct defect geraakt. Dat is in feite het beste dat u kan overkomen, want zo'n incident is gemakkelijk op te sporen bij de kwaliteitscontrole van het onderdeel of het apparaat waarin het onderdeel is gesoldeerd.

Pregnant IC
Door een ESD beschadigd IC hoeft niet direct kapot te gaan. Naarmate een apparaat langer aan staat zal de plek waar de beschadiging plaatsvindt langzaam doorbranden. Dit noemt men een *'pregnant IC'*. Zo'n beschadiging zal zich pas uiten als het apparaat al een tijdje in gebruik is.

Latent Defect
Een *'latent defect'* is min of meer te vergelijken met een pregnant IC. Een latent defect heeft echter geen totale uitval op termijn tot gevolg, maar leidt tot degradatie van de specificaties van een schakeling of apparaat. U begrijpt ongetwijfeld dat een apparaat waarin een onderdeel zit met latent defect een nachtmerrie is voor iedere technische dienst. Uw klant klaagt dat het apparaat niet aan de specificaties voldoet, u meet dat dit inderdaad het geval is, maar wat is de oorzaak?

ESD to ESDS
Bij een dergelijk incident wordt statische lading overgebracht van een bron (ESD) naar een ESDS (Electro Static Discharge Sensitive). Een voor de hand liggend voorbeeld. U loopt naar uw werktafel, verzamelt ondertussen lading en pakt een IC van het tafeloppervlak. Op dat moment ontlaadt u zichzelf via de pennen van het IC, het tafeloppervlak, en de (metalen)

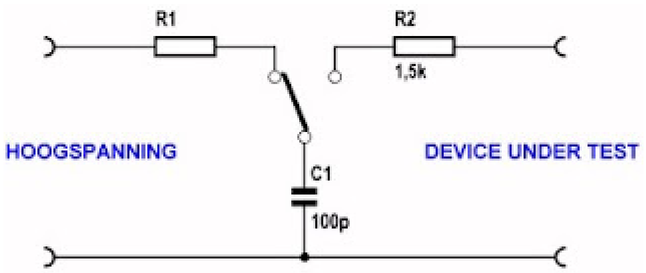
poten naar de aarde. Voor een dergelijk incident bestaat een model dat HBM heet, oftewel *'Human Body Model'*. Wij komen daar later op terug.

ESDS to body
Het omgekeerde incident kan ook voorkomen. Als u zichzelf volledig ontladen hebt en u pakt een ESDS van de opgeladen tafel, dan vloeit er lading van de tafel via het ESDS naar uw lichaam. Ook dat kan uiteraard schade aan het component veroorzaken. Voor dergelijke incidenten heeft men ook een model opgesteld dat door het leven gaat onder de naam MM, oftewel *'Machine Model'*.
Realiseert u zich dat een 'ESDS to body' incident vaak meer schade aanricht dan een 'ESD to ESDS' incident. Een tafel kan bijvoorbeeld veel meer lading verzamelen dan uw lichaam met als gevolg dat de statische spanning veel hoger kan zijn en de ontlaadstroom heftiger.

Field Inducted Discharges
Rond een elektrostatisch opgeladen voorwerp bevindt zich een elektrostatisch ruimtelijk veld. Als een ander voorwerp in de invloedssfeer van dit veld staat, dan kan dit veld in dit voorwerp een elektrostatische lading opwekken. Dit incident is te vergelijken met de werking van een trafo, waar een onder spanning staande primaire wikkeling een magnetisch veld opwekt en dit magnetisch veld in de secundaire wikkeling een inductiespanning genereert.
Die geïnduceerde lading kan groot genoeg zijn om gevaarlijke statische spanningen te genereren in het voorwerp. Als het voorwerp via een lage impedantie met de aarde is verbonden, kan deze inductielading tot vonkontladingen leiden die beschadigingen tot gevolg hebben.

De ESD-modellen

Human Body Model
De mens is de voornaamste bron van ESD-schade. Om componenten op een betrouwbare en reproduceerbare manier te kunnen testen op hun bestendigheid tegen uw eigen ESD moet er dus een internationaal gestandaardiseerd model worden ontwikkeld, dat een elektrisch equivalent voorstelt van uw geladen lichaam. Dat model, dat 'HBM' wordt genoemd, is vreemd genoeg erg eenvoudig, zie onderstaande figuur. Nog vreemder is dat dit model al in het midden van de 19de eeuw werd ontwikkeld als middel om vonkoverslag in steenkoolmijnen, waardoor explosies konden ontstaan, reproduceerbaar te onderzoeken.



Het wel zeer eenvoudig equivalent schema van uw opgeladen lichaam.
(© 2018 Jos Verstraten)

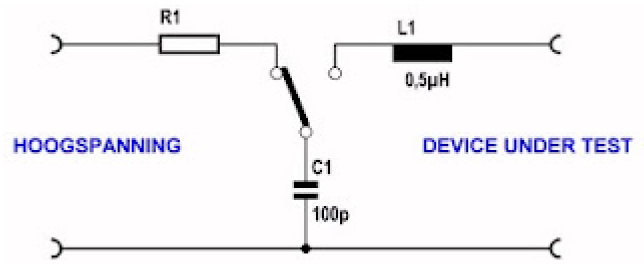
Uw lichaam wordt dus voorgesteld door een condensator met een capaciteit van slechts 100 pF. Deze condensator wordt via de schakelaar en een stroombegrenzende weerstand R1 opgeladen tot de ESD testspanning. Door het omschakelen van de schakelaar ontlaadt de condensator zich via een weerstand van 1,5 kΩ naar het *'device under test'*, het te testen onderdeel. Ondanks de lage waarde van de condensator kunnen er flinke stromen vloeien. In onderstaande grafiek ziet u het typische stroomverloop van de ontlading van een HBM in een onderdeel. Let op de tijdschaal: deze is weergegeven in ns!
Conclusie is dat ESD-ontladingen zeer snelle verschijnselen zijn, die zich en een paar tientallen ns afspelen. Wat dat betreft kunt u een ESD vergelijken met een bliksem. Ook een

bliksem ontstaat en verdwijnt binnen en paar tientallen nanoseconde.



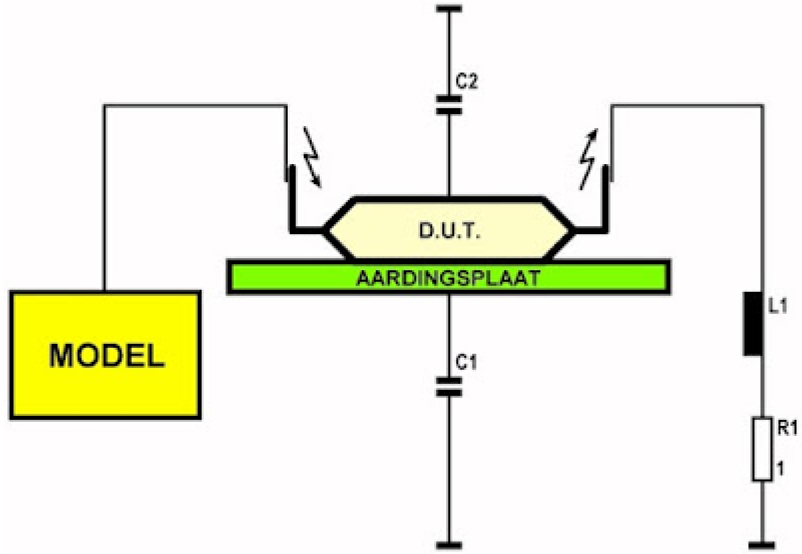
Het typisch verloop van de ontlaadstroom als het Human Body Model wordt ontladen in een testonderdeel. (© 2018 Jos Verstraten)

Machine Model
Het Machine Model is geënt op het Human Body Model, maar ziet er toch iets anders uit, zie onderstaande figuur. De condensator heeft nu een waarde van 200 pF en de ontlaadweerstand is vervangen door een in principe weerstandsloze zelfinductie van 0,5 µH.



Het Machine Model. (© 2018 Jos Verstraten)

Het testen van componenten met de modellen
Voor het testen van onderdelen heeft men een standaard meetprocedure ontwikkeld, geschetst in onderstaande figuur. Het te testen onderdeel, in dit geval een DIL-IC, wordt met de pootjes in de lucht op een metalen plaat gelegd. Eén pootje wordt geladen via het Human Body Model, een ander pootje wordt ontladen naar de massa via een weerstand van 1 Ω en een kleine zelfinductie. De condensatoren C1 en C2 stellen de parasitaire capaciteiten van het systeem voor.



Een vaak gebruikte meetmethode waarmee u de ESD (on)gevoeligheid van onderdelen kunt onderzoeken. (© 2018 Jos Verstraten)

Classificatie
Aan de hand van de meetresultaten kunt u aan ieder onderdeel een klasse toekennen. Deze klasse geeft de maximale ESD-spanning dat het onderdeel zonder beschadiging kan verdragen. In de onderstaande tabel is deze classificatie gegeven voor testen met het meest toegepaste en belangrijkste model, het Human Body Model.

KLASSE	SPANNINGS-BEREIK
CLASS 0	< 250 V
CLASS 1A	250 V - 500 V
CLASS 1B	500 V - 1.000 V
CLASS 1C	1 kV - 2 kV
CLASS 2	2 kV - 4 kV
CLASS 3A	4 kV - 8 kV
CLASS 3B	> 8 kV

Classificatie van onderdelen in relatie tot hun (on)gevoeligheid voor ontladingsspanningen volgens het Human Body Model. (© 2018 Jos Verstraten)

Maatregelen tegen ESD

Inleiding
Als u werkt met elektronica onderdelen, al is het maar deze uit hun verpakking halen, dan moet u maatregelen treffen tegen ongewenste ESD. In het algemeen zijn deze maatregelen kort en krachtig samen te vatten met de kreet:

GEEN LADING = GEEN ONTLADING

Als u er voor zorgt dat er nergens in de werkruimte lading kan worden opgebouwd, dan kunnen er zich ook geen schadelijke elektrostatische ontladingen voordoen. De theorie is dus eenvoudig, de praktijk is heel wat moeilijker!

Gecontroleerde ontlading
Het opbouwen van ladingen kan alleen worden voorkomen door alle voorwerpen in de werkruimte op hetzelfde potentiaal te zetten. Dat betekent dus dat u alle voorwerpen door middel van elektrisch geleidende paden met elkaar moet verbinden, incluis uzelf. Het zal duidelijk zijn dat dit gemakkelijker gezegd is dan gedaan. Bovendien mag u niet zomaar alles door middel van koperdraad met de aarde verbinden. Als er voorwerpen tóch worden opgeladen, dan moet die lading op een gecontroleerde manier kunnen afvloeien naar de aarde. Een 'geleidende' polsband heeft bijvoorbeeld een ingebouwde weerstand van ongeveer 1 MΩ. Raakt u een opgeladen voorwerp aan, dan zal de elektrostatische spanning via deze weerstand gecontroleerd afvloeien, waarmee wordt bedoeld dat de ontlaadstromen niet te groot zijn. Het woord *'geleidend'* moet u dus in het kader van ESD-producten niet al te letterlijk opvatten!

Electrostatic Protected Area
Het komt er op neer dat u zogenoemde 'EPA's' moet creëren. EPA is het letterwoord van *'Electrostatic Protected Area'*, elektrostatisch beschermde ruimte. Zo'n EPA moet duidelijk herkenbaar zijn door het op deuren en ramen ophangen van speciale stickers (zie onderstaande figuur) en mag alleen door specifiek getraind personeel worden betreden. Deze sticker heeft een gele achtergrond en zwarte letters.



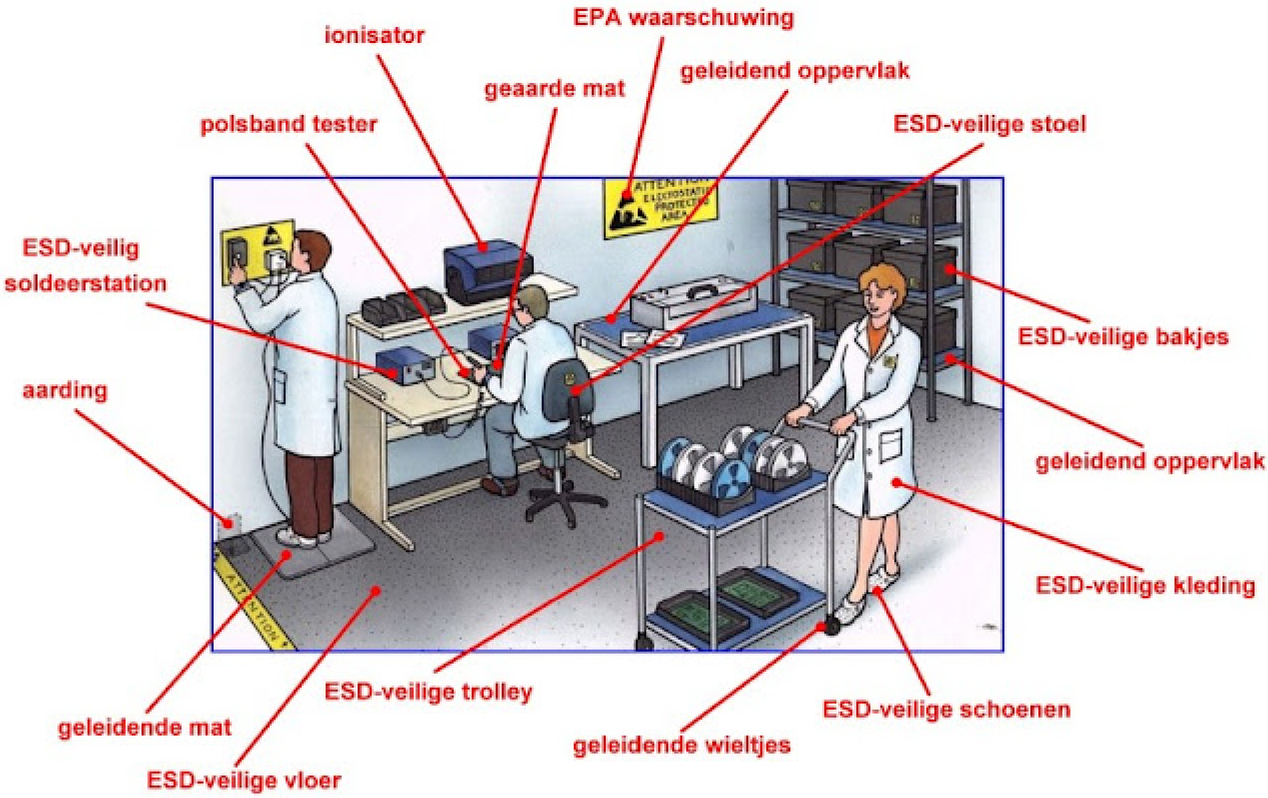
Door middel van dergelijke stickers wordt u er op gewezen dat u een EPA betreedt.
(© Reece Safety)

Dergelijke zones zijn er niet om te voorkomen dat ladingen ontstaan, maar wel om er voor te zorgen dat aanwezige ladingen gecontroleerd worden afgevoerd. In de beveiligingszone ligt daarom een geleidende en geaarde vloerbedekking. Werkvlakken zijn voorzien van afleidingsweerstanden met een bepaalde weerstand, waardoor ladingen niet te snel, maar ook niet te langzaam worden afgevoerd. Verplaatsbare tafels hebben naast een geleidend oppervlak ook geleidende wielen. Datzelfde geldt voor het onderstel van de stoelen. De bekleding en de vulling zijn vervaardigd uit een geleidend materiaal.
Een probleem is echter ook de ladingen die worden veroorzaakt door wrijving. Een betrouwbare beveiliging is de aardende polsband en de geleidende eigenschappen van speciale schoenen, die telkens wanneer de drager de beveiligingszone betreedt getest moeten worden. Tot slot moet u ook geleidende handschoenen dragen. In de productie kan ESD, door toepassing van gecontroleerde afleiding, ionisatoren en een juiste materiaalkeuze, tegenwoordig meestal goed onder controle worden gehouden.

De inrichting van een EPA
Dat bij een goede inrichting nogal wat komt kijken, bewijst onderstaande figuur, waarin we alle aandachtspunten hebben samengevat. Dit overzicht geeft uiteraard een droom-inrichting van een EPA weer, aan alles is gedacht. Het kan ook ietsjes minder, maar waar u in ieder geval rekening mee moet houden is:

- Verpakkingen.
- Kleding.
- Polsbanden en schoenen.
- Producten voor het aarden van ESD-gevoelige apparatuur.
- Producten voor het aarden van ESD-veilige producten.
- ESD-veilige tafels.
- ESD-veilige stoelen.
- ESD-veilige trolleys.

- ESD-veilig geaarde soldeerapparatuur.
- ESD-veilige tafels of tafelmatten.



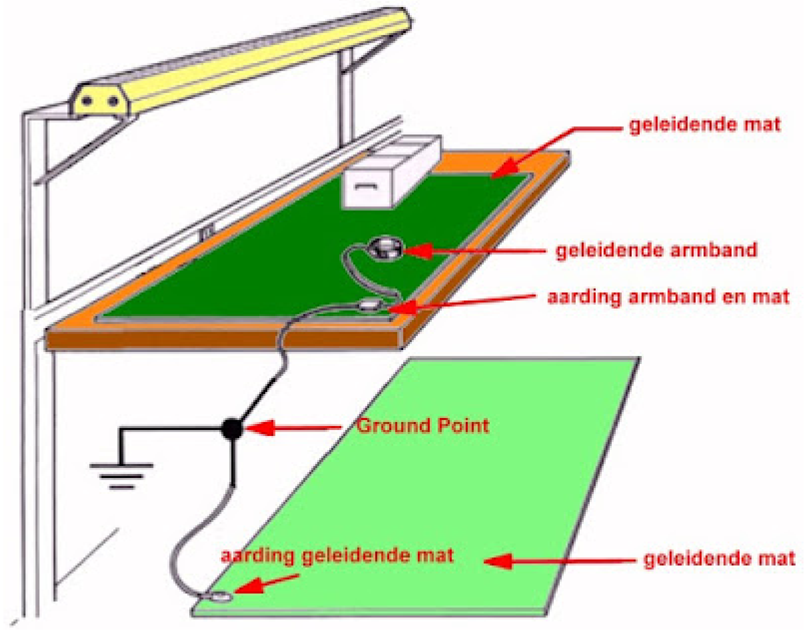
Een ESD-veilige werkruimte waar aandacht is besteed aan alle punten die van belang zijn. (© AC Supply)

ESD en het hobby-lab

De ESD-vrije werkruimte die we in de vorige figuur hebben geschetst is uiteraard bedoeld voor bedrijven die dagelijks met ESD-gevoelige componenten werken. Het op een dergelijke manier inrichten van een werkruimte kost een hoop centen. Wat moet de hobby-elektronicus op dit gebied doen? Niets en maar hopen dat het goed gaat? Niet erg verstandig, want in onderstaande figuur hebben wij een minimale ESD-uitrusting voorgesteld die niet veel geld hoeft te kosten, maar voor het gemiddelde hobby-werk een uitstekende bescherming biedt. Die minimale voorzieningen bestaan uit:

- Een geaarde vloermat, die de statische lading in uw lichaam afvoert naar de aarde.
- Een geaarde plaat op uw werktafel;
- Een geaarde armband.

Deze drie onderdelen moeten op één centraal aardpunt worden aangesloten, het 'Ground Point'.



De minimale ESD-voorzieningen die ook u als hobby-elektronicus moet treffen. (© Static Control Solutions)

Pictogram
Tot slot geven wij u in onderstaande figuur het internationaal gestandaardiseerde pictogram dat op alle verpakkingen waar ESD-gevoelige producten in aanwezig zijn moet worden aangebracht. Ook dit pictogram heeft een gele achtergrond en zwarte tekst. In de plaats van de letter X kunt u vier verschillende codes aantreffen:

- S: Electrostatic discharge shielding;
- D: Electrostatic dissipative;
- L: Low charging;
- C: Electrostatic conductive.



Het internationaal gestandaardiseerde ESD pictogram. (© Statex)